

Einflüsse von Emissionen und meteorologischen Parametern auf die Luftbelastung in urbanen Regionen

K. Schäfer, R. Shen, S. Emeis; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Bereich Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen
B. Bonn; Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Potsdam

J. Cyrys; Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (HMGU), Institut für Epidemiologie II (EPI), Neuherberg

M. Elsasser, M. Arteaga-Salas, J. Schnelle-Kreis; Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (HMGU), Joint Mass Spectrometry Centre, Comprehensive Molecular Analytics (CMA), Neuherberg

H. Ling, Y.S. Wang; Chinese Academy of Sciences (CAS), Institute of Atmospheric Physics (IAP), State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry (LAPC), 100029, Beijing, P. R. China

C. Münkel; Vaisala GmbH, Hamburg

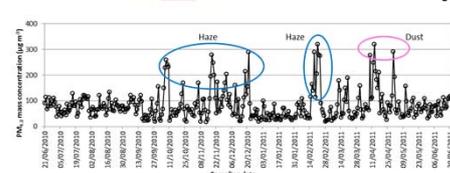
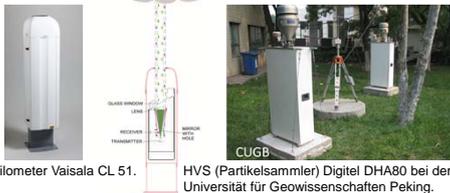
S. Norra; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie (IGG), Karlsruhe

P. Wagner; Universität Duisburg-Essen (UDE), Fakultät für Biologie, Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Essen

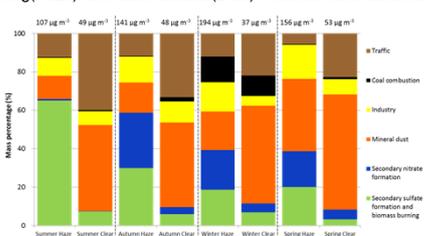
R. Zimmermann; Universität Rostock (U Rostock), Institut für Chemie, Lehrstuhl für Analytische Chemie, Joint Mass Spectrometry Centre, Comprehensive Molecular Analytics (CMA), Rostock

MOTIVATION

- **Lokale Emissionen** allein erklären hohe Luftschadstoff-Konzentrationen in urbanen Regionen nicht, insbesondere in der kalten Jahreszeit
- Rolle von **Emissionen, Meteorologie und Chemie** nicht vollständig verstanden – notwendig für Entwicklung von Modellen und Emissions-Reduktionsmaßnahmen
- Kenntnis der **Mischungsschichthöhe**: MLH ist ein bedeutender meteorologischer Einflussfaktor, kontrolliert die vertikale Ausbreitung von Emissionen, beeinflusst durch **Klimawandel**
- Evaluierung von Chemie-Transport-Modellen



PM-Massenkonzentration (Juni 2010 - Juni 2011) in Peking. Smog(Haze)- und Mineralstaub(Dust)-Perioden sind markiert.



PM-Massenanteil verschiedener Quellen während Smog und klarer Tage aus PMF-Rechnungen und Rückwärts-Trajektorien-Analysen in unterschiedlichen Jahreszeiten (Juni 2010 - Juni 2011) in Peking.



Cluster der Rückwärts-Trajektorien-Analysen (Juni 2010 - Juni 2011) in Peking.

METHODEN

- **Mischungsschichthöhen:** Ceilometer von Vaisala GmbH, augensicheres Mini-Lidar, MATLAB-Software für die Auswertung der Laser-Rückstreuprofile
- **Meteorologische Parameter** und Konzentrationen überwachungspflichtiger **Luftschadstoffe** (NO, NO₂, CO, O₃ and PM₁₀) von Messnetz-Datenbanken; PM_{2,5} und PM₁ von HMGU/EPI mit TEOM
- **Partikelgrößenverteilungen:** Augsburg von HMGU/EPI mit TDMPs, Berlin von UBA mit CPC
- **Benzol, Toluol, Isopren:** Essen von UDE mit GC, Berlin von IASS mit PTR-MS (weitere VOC)
- **Partikelzusammensetzung:** Peking aus Partikelprobenahmen von HMGU/CMA (org. Komp., Ionen), KIT/IGG (Elemente), U Rostock (BC/OC), CAS/IAP (Ionen, EC/OC, Elemente); Augsburg von HMGU/CMA mit Aerosol-Massenspektrometer (org. Komp., Ionen) and Aethalometer (BC)

Zeitliche Auflösung eine Stunde, Peking 24 Stunden, Genauigkeiten: Mischungsschichthöhe ca. 10 %, Konzentrationen 5 bis 15 %

- Anwendung von Quell-Zuordnungs-Methoden (PMF-Software) auf Basis der Partikel-Zusammensetzung (Peking) und Partikel-Größenverteilung (Augsburg): **Emissionsquellen**
- Cluster der Rückwärts-Trajektorien-Analyse (Peking): **Transporte**
- Korrelationsanalysen (Hannover, München, Budapest, Inntal bei Innsbruck, Athen, Peking, hier: Berlin) mit Klassifizierung (Essen), hierarchische Cluster-Analysen (Augsburg): **meteorologische Einflüsse**

ERGEBNISSE

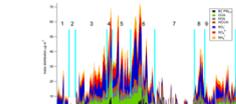
Smog in Peking (Abb. links)

- **Hohe Luftschadstoffemissionen** während stagnierender Inversionswetterlagen (geringe Windgeschw., niedrige MLH) und hoher Luftfeuchte
- Emissions-Quellen-Zuordnung mittels PMF-Software aus der Partikel-Zusammensetzung und Rückwärts-Trajektorien-Analysen: lokale und regionale Quellen von **Vorläufer-Substanzen** (NO₂, SO₂, NH₃) bilden sekundäre Aerosole
- **Dominierende Quellen variieren:** Sommer, Herbst – Bildung sekundärer anorganischer Ionen und Biomasse-Verbrennung
Winter – Kohleverbrennung
Frühjahr – Mineralstaub

Luftqualität in deutschen Städten (Abb. rechts)

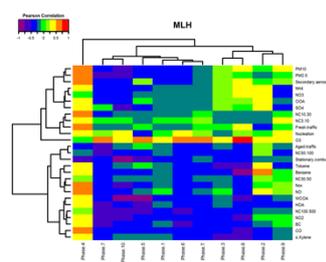
- Städtischer **Hintergrund:** Konzentrationen signifikant (bis zu 50 %) von **Mischungsschichthöhe** beeinflusst
- **Straßennmessstelle:** Mischungsschichthöhe bewirkt **Konzentrationsspitzen**
- Hierarchische Clusteranalysen der Korrelationen mittels chemischer Zusammensetzung und Größenverteilung der Partikel:
Windgeschwindigkeit (negative Korrelationen), Windrichtung, MLH (negativ) und relative Feuchtigkeit (positiv) wichtig für Konzentrationen **primärer Schadstoffe und Akkumulations-Moden-Partikel**
Temperatur (negativ), **absolute Feuchtigkeit** (negativ) und relative Feuchte (positiv) relevant für Konzentrationen **sekundärer PM₁-Komponenten und feiner Partikel**

10 zeitliche Phasen der PM-Zusammensetzung in Augsburg



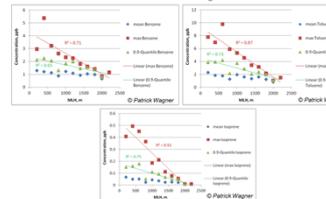
Typische Belastung: hoch 5, 6, 10; niedriger 3, 8, 9; niedrig 1, 2, 7
Besonderheit Phase 4: ein Tag mit Schneefall

Zeitliche Phasen der Messergebnisse an Hintergrundmessstelle (31.01.-12.03.2010) in Augsburg.



Korrelationen mit Mischungsschichthöhe (MLH) sowie hierarchische Cluster-Analyse (31.01.-12.03.2010) in Augsburg.

Korrelationen nach Klassifizierung der MLH in Essen



Korrelationen der mittleren und maximalen Konzentrationen mit Mischungsschichthöhe, eingeteilt in 11 Klassen von jeweils 200 m Höhe, an Straßennmessstelle (28.02.-03.04.2012) in Essen.

Korrelationen auf Basis monatlich gemittelter Tagesgänge in Berlin

Parameter	PM10	PM2.5	PM1	NO2	NO	CO	Relative Feuchte	Temperatur
PM10	1.00	0.85	0.75	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
PM2.5	0.85	1.00	0.70	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
PM1	0.75	0.70	1.00	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
NO2	0.15	0.10	0.10	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80
NO	0.10	0.05	0.05	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80
CO	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80
Relative Feuchte	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	0.80	1.00	0.80
Temperatur	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00

Korrelationen auf Basis monatlich gemittelter Tagesgänge in Berlin

Parameter	PM10	PM2.5	PM1	NO2	NO	CO	Relative Feuchte	Temperatur
PM10	1.00	0.85	0.75	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
PM2.5	0.85	1.00	0.70	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
PM1	0.75	0.70	1.00	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
NO2	0.15	0.10	0.10	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80
NO	0.10	0.05	0.05	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80
CO	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80
Relative Feuchte	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	0.80	1.00	0.80
Temperatur	0.10	0.05	0.05	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00

Korrelation der monatlich gemittelten Tagesgänge der Konzentrationen mit der Mischungsschicht an Hintergrundmessstelle (August 2014) in Berlin.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Emissionen ultrafeiner Partikel und Vorläufer-Substanzen sekundärer Aerosole durch Fahrzeuge sowie Verbrennung fossiler Brennstoffe und Holz – **Reduktion der Emissionen**
- **Zunahme** der Häufigkeit von **Smog-Episoden (Haze)** durch wachsende Emissionen feiner und ultrafeiner Partikel sowie von Vorläufer-Substanzen sekundärer Aerosole
- **Mischungsschichthöhen-Einflüsse** sind relevant für Akkumulations-Moden- aber nicht für Nukleierungs- / Aitken-Moden-Partikel und frisches Verkehrs-Aerosol
- **Sekundäre Aerosolbildungsprozesse** hängen von meteorologischen Parametern einschließlich der absoluten Feuchte ab

LITERATUR

- Schäfer, K., Elsasser, M., Arteaga-Salas, J.M., Gu, J.W., Pitz, M., Schnelle-Kreis, J., Cyrys, J., Emeis, S., Prévôt, A.S.H., Zimmermann, R.: Impact of meteorological conditions on airborne fine particle composition and secondary pollutant characteristics in urban area during winter-time. *Meteorol. Z.*, in revision.
- Shen, R.: Annual variation of chemical composition and source apportionment of particulate matter in Beijing. Technische Universität München Dissertation 2014.
- Wagner, P.: Analyse von biogenem und anthropogenem Isopren und seiner Bedeutung als Ozonvorläufer-Substanz in der Stadtmisosphäre. Universität Duisburg-Essen Dissertation 2014.